

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.09.013

大规格斜拉索高密度聚乙烯防护套挤出成型的研究

王韶华, 邬向伟

(中州大学实验管理中心, 郑州 450044)

摘要:针对400丝以上大规格斜拉索高密度聚乙烯(PE-HD)防护套存在着易开裂及外观质量差等质量缺陷问题,在挤出成型防护套的过程中,通过合理设计口模结构尺寸以增加模具压力、合理调控机头温度、调整好口模中内外模的间隙、对原材料PE-HD进行增韧改性等方法,使PE-HD均匀地包覆在裸索上,并紧密地粘附成一体,形成的防护套厚度均匀、无银纹且其与裸索之间没有间隙。通过以上措施,制备的大规格斜拉索防护套在生产制造、张拉检测、卷盘运输、施工安装环节中,当其受到挤压、弯曲、拉伸等应力的作用时,没有开裂等隐患现象发生。

关键词:大规格斜拉索; 高密度聚乙烯防护套; 挤出成型; 模具压力; 机头温度

中图分类号: TQ320.79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)09-0059-05

Study on Extrusion Molding of High Density Polyethylene Protective Cover of Large Specification Cable-stayed

Wang Shaohua, Wu Xiangwei

(Experiment Management Center of Zhongzhou University, Zhengzhou 450044, China)

Abstract : According to the quality defect problems that high density polyethylene (PE-HD) protective cover of large specification cable-stayed is easy to crack and the appearance quality of the cover is bad etc., in the extrusion molding process of PE-HD protective cover, through adopting the methods such as designing the die structure dimensions reasonably to increase mold pressure, controlling the die temperature, adjusting the gap between the inner mold and outer mold of the die reasonably and toughening the raw material PE-HD and so on, the PE-HD melt evenly covered on the bare cable and tightly adhered together with the cable. The forming protective cover has even thickness and no silver craze, the gap between the protective cover and the bare cable doesn't exist. Through the methods mentioned above, there are not hidden dangers such as cracking and so on occurring in the process of manufacturing, tension inspection, reel transportation, construction and installation of large specification cable protective cover.

Keywords : large specification cable-stayed ; PE-HD protective cover ; extrusion molding ; mold pressure ; die temperature

随着我国交通日新月异的发展,桥梁建设也越来越快地朝着大跨度、轻巧型方向发展,斜拉桥便是最为普遍的结构,大跨度斜拉桥成为近几年的发展趋势。斜拉索作为斜拉桥上重要的承载构件,其规格也随着斜拉桥跨度的增大而增大,特别是公铁两用桥,如已建成通车的武汉天兴洲公铁两用长江大桥,主跨度504 m,斜拉索规格最大为PES7-451,而正在建设中的世界最大跨度黄冈公铁两用长江大桥,其主跨度567 m,斜拉索规格为PES7-475,单根最大质量为50 t,正在筹建的港珠澳大桥,其斜拉索规格为PES7-511,是目前国内设计使用最大规格的斜拉索。大规格斜拉索因自重大、直径大,给斜拉索制作的每道工序都增加了一定的难度,其中斜拉索防护套的挤出成型便是一个难点。防护套是斜拉索索体防护系统最外边的防护层,其作用就是隔离

雨水及空气中的湿气、灰尘杂质进入索体,如果防护套开裂,水气、灰尘杂质进入索体将造成钢丝腐蚀,严重影响斜拉桥的安全性与寿命,国内外已有多起这方面的实例,经济损失很大。因此笔者就大规格斜拉索防护套挤出成型中存在的问题,提出具体的解决方法措施,以保证大规格斜拉索防护套的质量。

1 大规格斜拉索结构及其防护套挤出成型原理

斜拉索结构^[1]主要由索体和锚具(螺母、锚杯、连接筒)两大部分组成。一般将由400丝以上高强镀锌钢丝编索成型的斜拉索称之为大规格斜拉索,其防护套挤出成型工艺原理是通过塑料挤出机将高密度聚乙烯(PE-HD)加热、加压而使其以熔融流动

联系人:王韶华,高级工程师,主要研究方向为机械制造与设计、桥梁缆索制造

收稿日期:2013-06-20

的状态连续通过环形口模热敷在高压镀锌钢丝组成的裸索上,经过水槽冷却,定型包覆在裸索上,形成防护套。为使斜拉桥与环境相映,往往采用彩色斜拉索防护套,即利用两台挤出机、双层共挤机头将内层黑色、外层彩色的 PE-HD 共同热挤在裸索上来实现;为减小大规格斜拉索的风雨振动,在 PE-HD 刚从机头口模出来时,利用索体表面 150℃ 以上的温度,将预制的 PE-HD 条施加适当的压力呈双螺旋式粘结在护套表层,得到双螺旋线防护套。防护套挤出成型设备示意图如图 1 所示,实际生产图如图 2 所示。

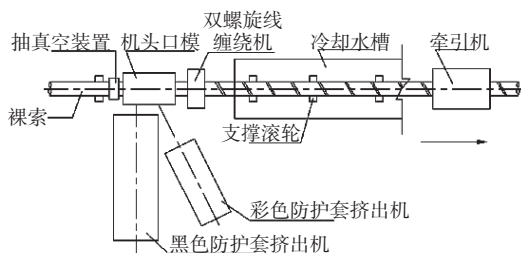


图1 防护套挤出成型设备示意图

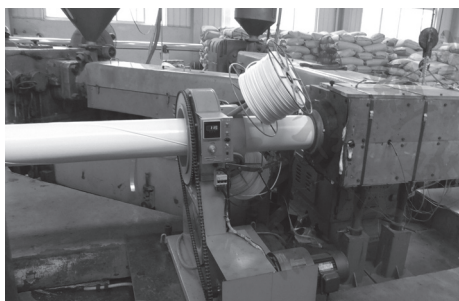


图2 防护套实际生产图

2 挤出成型大规格斜拉索防护套存在的问题

2.1 生产设备的问题

大规格斜拉索防护套直径大、厚度大,使其单位面积使用的 PE-HD 材料较多,因此必须增加单位时间内挤出的 PE-HD 的产量。自 20 世纪 90 年代初,我国开始工厂化生产缆索以来,使用的都是生产电缆的挤出成型设备,但其产量低,用于大规格斜拉索防护套的挤出成型时其挤出速度就会很低。如果挤出速度太低,护套进入冷却水槽的时间长,护套自重下坠,造成底部护套与裸索之间有间隙,并引起径向拉伸应力,在成品卷盘包装时易造成护套开裂。更严重的是,在未进入冷却水槽之前,护套因自重下垂严重变成类似“蝙蝠袖”的形状,进而必须中途停机,造成很大的经济损失。

2.2 银纹、偏心等问题

大规格斜拉索防护套的外层直径为 180~194 mm,厚度为 12~14 mm,索体自重为 40~

50 t。直径大、自重大使裸索在挤出机机头的运行很不稳定,热挤防护套时,容易造成裸索不在内口模的中心而是在口模底部运行,这样易形成涡流,使口模底部的 PE-HD 塑化不好,性能遭到破坏,从而产生银纹现象,护套厚度也容易发生偏心。由于厚度大,刚出机头口模的防护套料温度还在 150℃ 以上,进入冷却水槽还不能立即固化,经过水槽支撑滚轮时容易造成挤压而变形、双螺旋线粘结不好。另外,机头温度调控不好,容易造成防护套料碳化变黑,外观质量差。

2.3 开裂的问题

防护套最大的质量问题就是开裂。一方面这是由于挤出口模内的压力不足,造成防护套与裸索之间有间隙,大量的实践证明,在成盘包装时,特别是在低温状态下卷盘、放盘,这种间隙都很容易造成防护套的开裂。另一方面,由于大规格斜拉索自重大、直径大,防护套的厚度也大,因而需要成盘运输,但这会引起成盘内外侧斜拉索护套在受压或拉伸时的变形超过 PE-HD 的弹性变形范围(虽然 PE-HD 断裂伸长率高,但其弹性变形时的伸长率小^[2]);或因成品斜拉索提前制好长期放置,弯曲拉伸压力超过 PE-HD 拉伸屈服值,影响护套性能,最终导致开裂;特别是冬季天气寒冷,低温对 PE-HD 耐环境应力开裂性能影响显著。

3 改善方法和措施

对大规格斜拉索防护套存在的以上问题,可采用更新优化挤出设备的措施来加以解决,如通过增大螺杆的直径和长径比、加大电机转矩、提高螺杆转速来提高产量;通过加长加宽冷却水槽、分级冷却梯度降温等来优化冷却效果,防止因防护套厚度大被支撑滚轮挤压变形;除此之外,改善热挤防护套的成型工艺并进行严格的质量控制,也是保证大规格斜拉索防护套质量的关键。笔者主要介绍了通过口模的结构尺寸设计(增加模具压力)、机头温度的调控、口模中内外模间隙的调整、PE-HD 的增韧等来改善防护套质量的方法和措施。

3.1 口模的结构尺寸设计

(1) 口模的选择。

PE-HD 熔体在机头口模中的成型是斜拉索防护套挤出成型的关键,当熔体在口模中流动时,因为摩擦的作用,口模会阻止熔体流动,所以需要足够的压力迫使熔体通过口模,这种压力可称为模具压力^[3]。大规格缆索护套应选用压力型结构的口模,如

图3所示(其中,内模外壁与中模内壁形成的流道出黑色 PE-HD 熔体,中模外壁与外模内壁形成的流道出彩色 PE-HD 熔体)。其原理为当裸索通过口模时,在模具压力的作用下, PE-HD 熔体均匀地热敷包覆在裸索上,并紧密地粘附成一体,再借助抽真空装置(见图1)会使护套更紧密地包覆在裸索上。

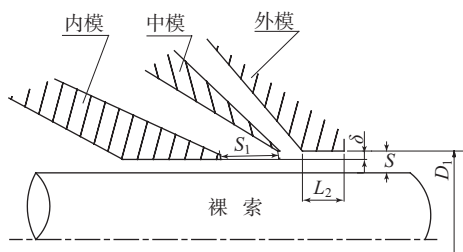


图3 压力型口模示意图

(2) 模具压力的调控。

模具压力是由发生在机头口模内的流动过程产生的成型压力,与挤出机的工作过程无关。压力型结构模具中流道的截面形状、模具温度、熔体的流率及熔体的流变性质等因素影响着模具压力。参照牛顿流体在圆形和狭缝形流道内流动时压力降的计算公式,可将塑料熔体在任意形状流道内流动时的模具压力 P 与熔体体积流率 Q 的关系表示为^[3]:

$$P = Q\eta / K \quad (1)$$

式中, η 为口模中熔体的黏度; K 为口模阻力系数,仅与口模流道的几何尺寸有关。对圆形流道 $K = \pi D^4 / 128L$,其中 D 为圆形流道的直径, L 为圆形流道的长度。

增加模具压力与压缩比 B 有关, B 是指口模的内模外壁与中模内壁形成的出料口处环形截面积 S_1 与口模的外模壁和裸索间形成的间隙截面积 S 的比值(见图3)。当 B 大于1时,其能使压力传递给黑色 PE-HD 熔体,得到一定的 P (由于彩色 PE-HD 用量比黑色 PE-HD 少得多,故忽略),从而使黑色 PE-HD 熔体流经口模流道后能够很好地融合形成防护套并紧紧地压敷在裸索上。如果 B 小于1,熔体得不到一定的压力,就不能与裸索紧密地粘附成一体,从而造成防护套与裸索之间有空隙。

为防止护套与裸索之间有空隙,增加 P 的具体措施如下:

(a) 适当加长外模口流道长度 L_2 (见图3)。

P 与 L_2 的关系式如式(2)所示:

$$P \propto L_2 / S^3 \quad (2)$$

增加 L_2 , 熔体流经模具的 P 增大,挤出的 PE-HD 能够紧密地与裸索粘附成一体,并且成型的

防护套均匀、密实度好,一般大规格斜拉索的 L_2 在 30 ~ 50 mm 之间,但不可过长,否则会造成护套的表面粗糙、熔体倒流等质量问题。

(b) 减小 S 、加大 S_1 (见图3)。

B 与 S_1 和 S 的关系式如式(3)所示:

$$B = S_1 / S \geq 1.2 \quad (3)$$

设计外模的内径 D_1 减小,间隙截面积 S 便相应减少,适当加大环形截面积 S_1 ,使 $B \geq 1.2$,熔体得到一定的 P ,从而与裸索紧密地粘附成一体, PE-HD 防护套挤出速度比牵引速度要快 10% ~ 20%,靠膨胀达到预留尺寸,经水槽冷却定型成标准尺寸。另外,设计口模内模直径时,要保证与裸索直径之间的间隙为 4 ~ 6 mm,如果间隙过小,大规格裸索在机头运行中时,由于自重大,不可能走中线,蹭到模壁被刮破绕包带,引起“爆丝”(即钢丝不成型)严重的质量问题,造成停机、前功尽弃,经济损失很大。

3.2 机头温度的调控

斜拉索防护套一般都设计为内层黑色、外层彩色,客户通常选用白色 PE-HD,因此如果机头温度控制不当,比其它颜色 PE-HD 更容易出现碳化变黑的质量问题,一种情况是温度过高,挤出的防护套出现“黑色斑马线”;另一种是第一次挤完防护套后,温度不会马上降低,机头里剩余的物料在高温下部分被碳化变黑,在第二次挤出时虽然利用新料挤出了大量的余料,但防护套上还会出现如“黑渣”、“黑色接缝”等缺陷。大规格斜拉索防护套的规格大、厚度也大,单位使用的 PE-HD 护套料较多,温度控制不当,更容易出现此类质量问题,需要使用大量的新料来挤出余料以消除“黑色”,造成极大的浪费。

合理调控机头温度,可以消除“黑色”。机头部分的加热由两种方式提供,一种是由温控仪控制的电加热器提供的外加热,白色 PE-HD 的温度一般设定为 200 ~ 220℃;一种是由螺杆在旋转过程中对物料压延、摩擦、剪切产生的内热量。在开机前,预热 5 h 以上,挤出时,物料的熔融主要以电加热器为主,挤出后阶段,当温控仪显示 220℃时,随着内热量逐渐增加,机头温度已经高于 220℃。此时可采取提前(提前时间根据裸索的长度)关闭机头温控仪停止外加热的方法,靠内热量挤出完毕,停机后马上使用风扇使机头降温。

3.3 口模中内外模间隙的调整

口模中内外模间隙 δ 是指口模外模直径与口模内模直径之间的间隙,如图3所示。调整好 δ ,可以

弥补因大规格斜拉索自重大在口模底部运行导致 PE-HD 的塑化不好,性能遭到破坏,发生银纹现象及护套厚度偏心等问题。

防护套的厚度 t 与 δ 之间的经验公式如式 (4) 所示:

$$\delta = abt \quad (4)$$

式中, a 为膨胀比,即为防护套的直径与口模外模直径 D_1 的比值; b 为牵引比,即为裸索的牵引速度与护套的挤出速度的比值。

根据实践经验, a 取 1.05 ~ 1.07, b 取 0.8 ~ 0.9, 则 δ 为:

$$\delta = (1.05 \times 0.8)t \sim (1.07 \times 0.9)t = (0.840 \sim 0.963)t$$

口模中内外模之间的上间隙比下间隙要小 10% ~ 18%, 用于克服斜拉索自重大引起的质量问题。

另外,要保证大规格斜拉索防护套的成型质量,一定要遵循横向膨胀比略大于或等于纵向牵引比、牵引速度与挤出速度相配合的原则,从而使压力型结构的口模成型出纵横两向强度均衡的防护套。但在实际的生产中,常在同一口模下依靠改变牵引速度来获取不同厚度的防护套,以便充分利用模具。由于牵引比有一定限度,而膨胀比也不能超出某种范围,所以可通过合理调整口模中内外模的间隙来实现利用同一口模获取不同厚度防护套的目的。

3.4 PE-HD 的改性

防护套所用材料 PE-HD 具有良好的强度、韧性及优异的耐热性、耐油性、绝缘和化学稳定性,20 世纪 90 年代初我国开始将它用于桥梁缆索的防护套上。但防护套成型后性能无法进行全面检测,故通常都是对 PE-HD 原材料或挤塑余料的性能按照国家标准 GB/T 18365-2001^[1] 进行抽样检测。PE-HD 对于挤出成型的斜拉索防护套来说具有使用性能和施工性能两大特点。吕晓雷等^[4] 利用超高分子量聚乙烯 (PE-UHMW) 与 PE-HD 进行共混改性,得到了耐紫外线辐照性能优良的防护套材料;蔡国军等^[5] 采用双峰聚乙烯 (BPE) 来替代 PE-HD,将 PE-UHMW 和 BPE 进行共混改性,得到耐紫外线辐照和耐环境应力开裂性能优异的防护套材料,这些研究都提高了 PE-HD 的使用性能,防止防护套的老化、变色。

PE-HD 的施工性能主要表现在其韧性,这种性能随着防护套厚度的增加而降低。由于大规格斜拉索的直径大、自重大,在热挤塑套、锚具制作、张拉检测、卷盘运输、施工安装等环节中,防护套不断地受

到挤压、碰撞等应力的作用,若 PE-HD 韧性不足,则易发生防护套暗伤、开裂等严重质量问题,因此需要改善和提高原材料 PE-HD 的韧性,以提高其施工性能,从而延长大规格斜拉索防护套的使用寿命。目前,增韧改性 PE-HD 技术在国内塑料工程领域已经很有成效,方法途径很多,但运用到桥梁缆索,特别是大规格的斜拉索防护套上才刚刚起步,将弹性体增韧 PE-HD 技术^[6] 应用到大规格斜拉索护套是一个新的研究课题,国内缆索制作业已经开始进行研究,但仍有待实践的检验。

4 结语

通过合理设计口模结构尺寸以增加模具压力、合理调控机头温度、合理调整内外口模间隙、提高原材料 PE-HD 的性能尤其是韧性是优化大规格斜拉索防护套挤出成型工艺、提高其质量的关键方法措施,这些方法措施能够保证大规格 PE-HD 防护套具有高的密实度、低的尺寸变化率和良好的外观成型质量,能够使防护套在制作、施工和应用中保持较好的性能、具有更高的耐久度。采用以上方法措施,在武汉天兴洲公铁两用长江大桥大规格斜拉索防护套的制备中,取得了良好的效果。另外,合理设计口模结构以增加模具压力为今后大规格斜拉索 PE-HD 防护套技术的进一步发展起到启示作用,为大规格斜拉索防护套的制备提供了参考。

参考文献

- [1] 交通部重庆公路科学研究所. GB/T 18365-2001 斜拉桥热挤聚乙烯高强度钢丝拉索技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,2001.
Chongqing highway research institute of the ministry of communications. GB/T 18365-2001 Technical conditions for hot-extruding PE protection high strength wire cable of cable-stayed bridge[S]. Beijing:China Standard Press,2001.
- [2] 叶觉明. 热挤 HDPE 护套在桥梁缆索防护中的应用[J]. 工程塑料应用,2005,33(3):42-45.
Ye Jiaoming. Application of hot extrusion HDPE protective cover in bridge cable protection[J]. Engineering Plastics Applications,2005,33(3):42-45.
- [3] 申长雨,陈静波,刘春太,等. 塑料成型加工讲座(第十讲)塑料挤出成型工艺及质量控制[J]. 工程塑料应用,1999,27(12):32-36.
Shen Changyu, Chen Jingbo, Liu Chuntai, et al. Plastic molding processing lectures (tenth) plastic extrusion molding process and quality control[J]. Engineering Plastic Applications,1999,27(12):32-36.
- [4] 吕晓雷,倪忠斌,薛花娟,等. 桥梁缆索 PE 护套的抗紫外老化性能研究[J]. 中国塑料,2009,23(6):60-64.
Lv Xiaolei, Ni Zhongbin, Xue Huajuan, et al. Research on anti-

ultraviolet aging performance of the bridge cable PE sheath[J]. China Plastics, 2009, 23 (6):60-64.

- [5] 蔡国军,倪忠斌,薛花娟,等.聚乙烯白色护套料的耐久性研究[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(4):61-64.

Cai Guojun, Ni Zhongbin, Xue HuaJuan, et al. Research on the durability of white polyethylene sheath material[J]. Engineering

Plastics Applications, 2010, 38 (4):61-64.

- [6] 樊卫华,王万杰,白娟,等.高刚性高韧性 PE-HD/E-TMB 共混物的性能[J]. 工程塑料应用, 2011, 39(5):12-14.

Fan Weihua, Wang WanJie, Bai Juan, et al. The performance of high rigidity and high toughness PE-HD/E-TMB blends[J]. Engineering Plastics Applications, 2011, 39 (5):12-14.

义乌环保型塑料餐具出口形势持续走俏

数据显示,截至7月22日,浙江义乌检验检疫局辖区内共出口环保型塑料餐具2781批,货值3635.10万美元,同比分别增长4.16%和5.63%,出口形势持续走俏。义乌地区的环保型塑料餐具产品主要涉及塑料餐具、塑料杯、奶瓶、塑料保鲜盒等。目前,义乌局辖区共有塑料餐具厂家12家,销售与食品接触类的塑料餐具商户900余家,产品主要销往美国、埃及、西班牙、加拿大、澳大利亚等国。

环保型塑料餐具是指所用材料对人体无害,无毒无味,易降解,生产、制造和使用过程无污染,产品质量符合国家食品卫生要求,产品用完后具有易回收和易处置的塑料制食品容器。目前市场上销售的塑料餐具大多可耐100℃以上的高温,尤其是环保型餐具、硬塑料杯子等,合格产品可耐160℃的高温,即使放在微波炉里热饭、热牛奶也十分安全。

为了更好地服务地方经济发展,提升产品质量监管的针对性和有效性,义乌局多措并举保证此类产品质量安全:制定严格的原辅材料采购检验和成品检验制度,加强塑料原料、塑料添加剂等原材料的风险评估;帮扶企业加大新型环保产品的研发力度,有效规避出口国的技术壁垒;加大监督管理力度,实现“源头把控”与“过程监管”双管齐下,为出口产品质量保驾护航。(中质新网)

功能化和轻量化成塑料加工业新要求

随着我国塑料行业发展得愈发迅速,塑料加工业已经从综合资料迈向了生产资料,迈向了高技术产品的开发和生产。根据当代塑料加工业的发展趋势,“十二五”发展规划指导意见明确提出“功能化、轻量化”为成型的要求。

功能化既是产品的属性,又是产品结构调整的重要方向。塑料作为21世纪的新材料,是节能环保型能源高端装备制造制造业、新能源汽车等领域不可缺少的配套材料。各种高阻隔膜、电池隔膜、光合膜、太阳能电池分装膜等功能性薄膜,以及超滤微滤等过滤膜,各种高强、高韧、耐高温、耐磨、耐腐蚀、导电、导热绝缘、纳米核心等工程塑料,在未来市场中的需求将会越来越大。技术进步的加快将赋予塑料材料和塑料制品更多新功能,以满足国民经济的需求。塑料制品的功能化、智能化在未来将会得到更广泛的发展。

轻量化技术将为塑料工业的发展带来重大便利。新材料和工艺(层叠共挤、多层复合等核心工艺)的进步使得薄膜、片材及容器轻量化的发展成为可能:采用发泡技术可以实现结构减重,如当前行业均在关注的超临界二氧化碳发泡技术;微孔塑料采用当今世界的前沿技术,每1 cm³中,有10⁹~10¹⁵个小孔,孔径极小,这不仅实现了减重,而且大大提

高了塑料的各种性能;高强发泡制品在高速列车、飞机、轮船等交通工具中的应用也非常普遍,未来,轻量化材料在汽车、飞机、轨道交通方面的运用将会越来越广。

微成型技术是塑料加工业从设备到成型工艺最先进的技术之一,包括目前盛行的3D打印、微速度成型及CAD成型等技术,均被广泛应用于光电通信、影像传输、医疗器械、信息存储等,可以满足材料更加昂贵、零件更加细微、更节约空间的高端精密结构零件的应用和需求。轻量化和功能化不仅是世界塑料加工业的总体发展方向和趋势,更是塑料加工业先进成型技术的一种体现,引领着行业未来科技通关、技术创新的方向,对行业具有重要的意义。(环塑资网)

亨斯迈将推多种聚合物创新技术

亨斯迈将于2013 K展推出一系列创新产品,包括:

ALTRIS 红外反射颜料——亨斯迈公司获奖的新型二氧化钛颜料,有助于降低能耗,该颜料可以提高彩色聚合物的阳光反射率,有助于减少生热,减轻褪色;

AVALON TPU 鞋用材料系列新产品,可提高TPU牌号的设计灵活性,具有极高的透明度和UV稳定性;

DELTIO 颜料,用于亮白色聚合物的一种低粉尘、散粒状二氧化钛颜料;

IROGRAN A 95 P 5003 TPU,具有优异阻燃性能的非卤TPU,用于工业和消费品电线、电缆;

专用IROGRAN TPU,用于与食品接触场合,如输送带、胶管和软管;

面向汽车工业的材料解决方案,包括耐刮擦漆保护膜,热熔胶和成型速度快的注塑件;

特种TIOXIDE 二氧化钛颜料,用于高性能母料和薄膜,以及高温聚乙烯。(中聚网)

西班牙发现大量细菌含生物塑料

最近,西班牙加泰罗尼亚理工大学的研究人员在玻利维亚的盐沙漠发现了一种细菌,它的体内含有大量聚羟基丁酸酯(PHB),这种聚合物具有较高的经济价值,它被生物降解,可用于食品和药品工业。因为这种可产生大量聚合物的菌种发现于玻利维亚境内著名的乌尤尼盐沼中,所以被命名为Bacillus megaterium Uyuni S29。

西班牙加泰罗尼亚理工大学和奥地利格拉茨技术大学的科研人员已在实验室中用类似于工业生产的条件成功培养出这种能产生大量化合物的杆菌。研究团队正试图利用一种可以破坏脂肪组织的脂肪酶减少PHB高分子的质量;并尝试用这种生物聚合物来制造装载抗体的纳米微球,并控制它们在机体中的扩散速度。(中国科学报)